



Classification :

42 c, 42

42 k, 21/01

Numéro de la demande :

312'62

Date de dépôt :

11 janvier 1962, 17 h.

CONFÉDÉRATION SUISSE

BUREAU FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

Brevet délivré le

15 février 1965

Exposé d'invention publié le 31 mai 1965

## BREVET PRINCIPAL

Bristol Siddeley Engines Limited, Bristol (Grande-Bretagne)

**Dispositif pour mesurer la vitesse d'oscillation ou de rotation  
d'une partie d'une pièce rotative qui peut osciller ou tourner par rapport  
au reste de cette pièce**

Edward Stuart Eccles et Donald Glenfield Seymour, Bristol (Grande-Bretagne),  
sont mentionnés comme étant les inventeurs

Le dispositif faisant l'objet de la présente invention pour mesurer la vitesse d'oscillation ou de rotation d'une partie d'une pièce rotative qui peut osciller ou tourner par rapport au reste de cette pièce, est caractérisé en ce qu'il comprend un aimant ou une électrode électrostatique portée par ladite partie oscillante ou rotative, et un conducteur fixe constitué par une rangée de barres s'étendant transversalement et régulièrement espacées, connectées les unes aux autres et disposées de manière que, pendant la rotation de la pièce rotative, l'aimant ou l'électrode croise successivement ces barres, de telle sorte qu'un signal électrique est engendré dans le conducteur, la fréquence de base de ce signal étant déterminée par la vitesse de rotation de la pièce rotative dans son ensemble, cette fréquence présentant une variation cyclique due au mouvement superposé de ladite partie oscillante ou rotative.

Lorsqu'il s'agit d'un aimant, le conducteur peut présenter une forme en zigzag, de façon que lorsque l'aimant défile devant lui, son flux y engendre une force électromotrice. Dans le cas d'une électrode, celle-ci peut être reliée électriquement à un dispositif permettant d'appliquer une force électromotrice à travers l'espace compris entre l'électrode et le conducteur, de manière qu'un signal électrique puisse être obtenu par la capacité variable entre l'électrode et le conducteur.

Le signal électrique obtenu à partir du conducteur présente une fréquence de base déterminée par la vitesse de rotation de la pièce rotative. Il présente en outre une variation cyclique due à l'oscillation ou à la rotation de ladite partie et se trouve donc

modulé. Le signal doit être alors démodulé et le signal résultant fournira une indication de la variation de vitesse de la partie oscillante ou rotative de la pièce rotative par rapport au reste de cette pièce.

Dans le cas d'un compresseur ou d'une turbine à écoulement axial dont la partie oscillante est une aube, le signal démodulé donne une indication de l'effort induit dans l'aube par la vibration. Cette manière de mesurer l'effort est particulièrement utile pour les aubes montées en porte à faux dont les extrémités ne sont pas supportées, par exemple dans les ancrages de racines en forme de « sapin ». Dans ce cas, on fixera l'aimant ou l'électrode à la pointe de l'une de ces aubes et on l'entourera par le conducteur. La sollicitation à la base d'une aube en porte à faux est proportionnelle au produit de la fréquence de la vibration par l'amplitude de celle-ci à la pointe de l'aube. Ce produit est essentiellement une fonction de la vitesse de la pointe d'une aube et est valable pour toute une série de genres de vibrations. La présente invention fournit donc un moyen utile pour déterminer la durée de vie de n'importe quelle aube de turbine ou de compresseur, pour diverses vitesses de rotation, une aube semblable ayant été essayée tout d'abord jusqu'à destruction à l'aide d'un dispositif d'essai statique à vibrations engendrées artificiellement, tandis qu'une jauge d'extensiométrie indique la sollicitation dans le pied de l'aube.

Lorsque la pièce mobile porte un aimant, le conducteur aura de préférence une forme en zigzag où toutes les barres s'étendant latéralement sont parallèles entre elles. Le conducteur peut être discontinu en un point le long du parcours de l'aimant, afin

qu'une force électromotrice alternative soit engendrée dans le conducteur, à travers l'intervalle, durant la rotation de la pièce mobile. Le signal constitué par cette force électromotrice peut être démodulé, de manière à déterminer la vibration de la pointe de l'aube par rapport au reste de celle-ci.

Lorsque la pièce mobile porte une électrode, celle-ci pourra être reliée électriquement à un dispositif permettant d'appliquer une force électromotrice à travers l'intervalle entre l'électrode et le conducteur durant la rotation de la pièce mobile. Cet intervalle peut servir d'impédance capacitive faisant partie d'un diviseur de tension, de façon que la tension à travers une deuxième impédance en série avec l'impédance capacitive de l'intervalle puisse être enregistrée, afin de déterminer la fréquence avec laquelle l'électrode defile devant les barres du conducteur. Les moyens de connexion de l'électrode peuvent être constitués par une bague collectrice capacitive, autrement dit une connexion électrique constituée par une bague montée sur le rotor et reliée à l'électrode et par une bague montée sur le stator et reliée à la source de la force électromotrice, de manière qu'une impédance de capacité plus ou moins constante soit maintenue entre les deux bagues, durant la rotation du rotor.

Le dessin annexé représente, à titre d'exemple, cinq formes d'exécution du dispositif objet de l'invention.

La fig. 1 est une coupe partielle d'un compresseur axial comportant la première forme d'exécution ;

la fig. 2 est une coupe partielle d'une turbine à gaz axiale comportant la seconde forme d'exécution ;

la fig. 3 est une coupe, à plus grande échelle, d'organes représentés à la fig. 2 ;

les fig. 4 et 5 sont des vues fragmentaires de deux formes de conducteur en zigzag, pouvant être utilisés dans ces formes d'exécution ;

la fig. 6 est une coupe partielle du rotor d'une roue de compresseur comportant la troisième forme d'exécution ;

la fig. 7 est une vue en perspective partielle de la quatrième forme d'exécution ;

les fig. 8 et 9 montrent deux types de conducteurs pouvant être utilisés dans cette forme d'exécution ;

la fig. 10 représente un circuit électrique relatif au dispositif de la fig. 7 ;

la fig. 11 représente un circuit électrique pour le conducteur de la fig. 9 ;

la fig. 12 représente un circuit électrique pour un dispositif semblable à celui de la fig. 7, comportant en outre un aimant ;

la fig. 13 est une coupe longitudinale partielle d'un roulement à rouleaux comportant la cinquième forme d'exécution, et

la fig. 14 est une vue prise depuis la gauche de la fig. 13.

Le compresseur d'air représenté à la fig. 1 comporte une carcasse 10 supportant les rangées d'aubes de stator 11 et renfermant un rotor 12 muni de

roues à aubes 13. On désire mesurer la vibration de l'une des aubes du rotor ou, plus précisément, la composante du déplacement de la pointe d'une aube dans un plan normal à l'axe de rotation. Dans ce but, un aimant permanent 14 en forme de cylindre allongé est placé dans un trou percé radialement dans la pointe de l'aube en question, où il est maintenu par exemple par martelage ou à l'aide de ciment. Lorsque le matériau des aubes est fortement magnétique, l'aimant 14 peut être isolé par un manchon en matière non magnétique, telle que de la céramique, afin d'obtenir une zone présentant un flux magnétique suffisant à l'extrémité extérieure radiale de l'aimant.

La face intérieure de la carcasse 10 est usinée pour former une rainure annulaire 15 entourant l'aube portant l'aimant 14. La carcasse 10 étant en matériau électriquement conducteur, il faut tout d'abord cimenter dans la rainure annulaire 15 une couche de matière isolante 16, sur laquelle on placera ou formera un conducteur annulaire 17 en feuille métallique. Ce conducteur comporte de nombreuses barres parallèles 18 s'étendant latéralement et reliées à leurs extrémités pour obtenir une forme en zigzag, comme le montre la fig. 4. Dans l'exemple considéré, les barres 18 s'étendent axialement dans une direction normale à l'axe de l'aimant 14 et, étant donné qu'elles ne sont séparées de l'extrémité adjacente de l'aimant que par un très petit espace, de 3 mm par exemple, elles sont également en majeure partie normales aux lignes de forces magnétiques.

Le conducteur est discontinu entre deux barres 18a adjacentes, qui sont reliées à un circuit électrique approprié, en dehors de la carcasse, par des conducteurs traversant celle-ci par des passages isolés.

Lorsque le compresseur tourne, le champ magnétique de l'aimant 14 que porte l'aube tournante 13 est par conséquent intercepté successivement par les barres 18 uniformément espacées, ce qui engendre une force électromotrice alternative entre les barres 18a. Du fait de l'espacement uniforme des barres 18 dans le sens du mouvement, une vitesse de rotation uniforme du compresseur donnera lieu à une force électromotrice d'une fréquence uniforme, directement proportionnelle à la vitesse de rotation. Mais, lorsque l'aube qui porte l'aimant subit des vibrations de flexion, c'est-à-dire un ample déplacement circonferentiel de l'extrémité de l'aube, la fréquence de la force électromotrice augmentera et diminuera cycliquement, ce qui permet d'obtenir, après démodulation, une indication de la contrainte produite par la vibration.

Pour que la démodulation de la force électromotrice donne un résultat sans ambiguïté, l'aimant doit défiler au moins devant quatre barres du conducteur, durant chaque cycle de vibration. Dans un exemple particulier, le conducteur comprend 720 barres 18 entourant un rotor à aubes faisant 100 tours par seconde, ce qui permet de mesurer des vibrations d'aube jusqu'à 10 kHz.

Le conducteur 17 peut être cimenté sous forme d'une feuille métallique continue sur la couche isolante 16 et recevoir ensuite la forme voulue par usinage ou gravure à l'eau-forte ; il peut aussi être appliqué sur la couche isolante par pulvérisation de métal avec interposition d'un écran. Un anneau de feuille métallique peut également être formé par poinçonnage de lentes s'étendant latéralement jusque près des bords de l'anneau, seules les fentes alternées étant alignées, puis les bords de l'anneau supprimés de manière à obtenir un conducteur en zigzag, lorsque l'anneau aura été cimenté sur la couche isolante.

Les barres du conducteur peuvent être inclinées par rapport à l'axe de rotation du rotor, afin d'augmenter le signal électrique produit par les vibrations de l'aube avec une composante axiale. L'inclinaison des barres par rapport à l'axe de rotation sera de préférence dans le même sens que l'inclinaison de la section du pied de l'aube qui porte l'aimant.

Les fig. 2 et 3 montrent une turbine à gaz comprenant une carcasse 20 enfermant une roue 21 portant des aubes 22 et montée sur un arbre 23. Un diaphragme 24, disposé immédiatement en amont de la roue de la turbine, porte les extrémités intérieures d'aubes directrices creuses 25. Sur la face amont de la roue de la turbine est monté un support 26 qui avance en direction du diaphragme 24 et comporte un logement pour un aimant permanent cylindrique 27 et un gobelet en acier 28 qui entoure l'aimant avec jeu latéral. Le gobelet 28 sert à concentrer les lignes de force de l'aimant. Ces deux parties peuvent être maintenues dans le logement radial par marteilage. Sur la face aval du diaphragme 24 est monté un support annulaire 29 portant à sa face intérieure une couche de matière isolante 30 à laquelle est fixé un conducteur annulaire 17 d'une forme en zigzag, comme celle indiquée par la fig. 4. Le conducteur 17 est disposé de manière à entourer étroitement le lieu géométrique de l'aimant 27 afin de se trouver dans le champ magnétique lorsque cet aimant tourne avec la roue 21 de la turbine. Deux barres adjacentes du conducteur sont reliées à des conducteurs isolés (non représentés) qui traversent le support, puis radialement l'une des aubes directrices 25 ainsi que la carcasse 20 pour atteindre un circuit comportant un dispositif servant à enregistrer ou à indiquer la fréquence.

Lors de la rotation du rotor portant l'aimant 27, le champ magnétique de celui-ci est intercepté successivement par chacune des barres du conducteur, ce qui y engendre une force électromotrice dont la fréquence est directement proportionnelle à la vitesse de rotation ; la fréquence peut être enregistrée ou indiquée dans le circuit du conducteur, en dehors de la carcasse de la turbine. Le conducteur peut également avoir la forme en zigzag inclinée, comme l'indique la fig. 5, ce qui est même préférable. Dans ce cas, les barres parallèles 32 du conducteur 31 sont inclinées de 45° par rapport à l'axe de rotation. Cette disposition est justifiée par le fait que les principales

composantes du mouvement des vibrations de la roue sont dans le sens axial et que les barres obliques permettent de mieux capter la variation de la fréquence des impulsions due à ces vibrations de la roue de la turbine.

Au besoin, le support 29 peut être disposé plus près de l'arbre 23 du rotor, le conducteur 31 étant alors monté autour de sa face extérieure et disposé de manière à se trouver dans le lieu géométrique de l'aimant rotatif 27 placé dans un logement de son support regardant vers l'intérieur.

Pour augmenter la sensibilité aux vibrations présentant surtout des composantes axiales du mouvement, le dispositif peut comporter un deuxième conducteur logé dans un isolateur et dont les barres 32 sont inclinées par rapport à l'axe de rotation du rotor dans le sens contraire à celui des barres de l'autre conducteur. L'angle d'inclinaison entre les barres de ces deux conducteurs peut être de 90°. Les deux conducteurs peuvent être reliés à des circuits séparés dont les indications peuvent être comparées, afin de déterminer le sens absolu de la vibration.

La fig. 6 montre trois aubes successives 35, 36 et 37 d'une roue d'un compresseur axial qui sont munies chacune d'un aimant permanent 38 placé dans un logement radial de l'aube. Un aimant est disposé dans la partie avant de l'aube 35, un au centre de l'aube 36 et un dans la partie arrière de l'aube 37. Trois conducteurs annulaires en zigzag 39, espacés axialement, sont logés dans une encoche annulaire de la face interne d'une carcasse 40, chacun d'eux entourant étroitement le lieu géométrique de l'un des aimants 38. Ces conducteurs sont fixés sur une couche isolante 41 et reliés chacun par deux conducteurs 42 au même circuit électrique ou à des circuits séparés comportant un dispositif enregistreur ou indicateur de fréquence. Cette construction montre que l'on peut ainsi facilement déceler des vibrations en plusieurs points adjacents.

Lorsque de nombreuses aubes d'une même roue doivent être contrôlées au point de vue des vibrations, un matériau magnétique peut être monté dans plusieurs aubes pour suivre le même chemin durant la rotation du rotor, ces aubes pouvant alors être contrôlées l'une après l'autre en aimantant séparément le matériau magnétique de chaque aube, pour chaque contrôle, ce matériau étant ensuite chaque fois désaimanté.

Il y a lieu de noter que pour mesurer la vibration d'une pièce mobile à l'aide d'un aimant et d'un conducteur en zigzag, comme décrit, des bagues ou des lignes collectrices ne sont pas nécessaires pour établir une connexion électrique entre une pièce fixe et la pièce mobile.

Le dispositif représenté à la fig. 7 comprend une électrode électrostatique 60 montée dans la pointe d'une aube 61. Cette électrode se déplace le long d'un conducteur 62 en zigzag, disposé dans une carcasse 63 par l'intermédiaire d'une couche isolante

64 Pour plus de clarté, le conducteur et la carcasse sont représentés à plat.

L'électrode 60 est isolée de la pointe de l'aube par une matière isolante 65 et est reliée à une borne fixe, à l'aide d'une bague collectrice capacitive (non indiquée sur la figure). La borne est représentée par le point T sur la fig. 10 et la capacité entre l'électrode 60 et le conducteur 62 est indiquée par  $C_v$ . La capacité  $C_v$  constitue un diviseur de tension avec une capacité C entre la borne T et la carcasse 63, tandis qu'une source de force électromotrice V est reliée aux deux capacités. La chute de tension à travers la capacité C est traitée de la même manière que la force électromotrice engendrée par l'aimant dans le conducteur des exemples déjà décrits. En d'autres termes, le signal provenant de la capacité C est démodulé pour obtenir une mesure de la vitesse de l'électrode 60, par rapport au reste du rotor, du fait de la vibration.

Les fig. 8 et 9 montrent deux types de conducteurs pouvant être utilisés avec l'électrode électrostatique 60. Le conducteur représenté à la fig. 9 est formé de deux parties séparées 62a, en forme de poignes. Le signal de sortie est capté entre les deux parties du conducteur, comme le montre la fig. 11, où  $C_{v1}$  et  $C_{v2}$  représentent les capacités entre l'électrode et les deux parties du conducteur,  $C_1$  et  $C_2$  représentent les capacités entre les deux parties du conducteur et la carcasse, tandis que ES est le signal capté entre les deux parties du conducteur.

Dans le cas d'un conducteur en zigzag, une électrode peut être utilisée en combinaison avec un aimant fixé à une aube différente, de façon à se déplacer plus ou moins dans le même chemin que l'électrode. Le circuit électrique est celui de la fig. 12. Le conducteur est discontinu à un endroit et la force électromotrice qui y est captée est un signal EM sortant d'un transformateur 66. Le conducteur est représenté par la ligne en zigzag 66a. Un signal ES provenant de l'électrode est capté entre la carcasse 63 et une prise additionnelle de l'enroulement primaire du transformateur.

L'électrode est reliée électriquement à une borne T, comme précédemment.

Plusieurs aubes peuvent être munies d'électrodes défilant devant le même conducteur. Dans ce cas, la force électromotrice à travers le diviseur de tension pour chaque aube sera à haute fréquence (de plusieurs fois supérieure à la fréquence porteuse produite par le défilement de l'électrode devant les parties du conducteur qui s'étendent latéralement), chaque aube ayant une tension différente et étant reliée à une borne fixe par une bague collectrice capacitive différente. Le signal provenant de chaque aube peut ensuite être démodulé pour obtenir un signal qui dépend uniquement de la fréquence de défilement de l'électrode devant les barres du conducteur 62, tandis qu'une démodulation supplémentaire indiquera la vitesse de l'électrode par rapport au reste du rotor. On peut également utiliser

une force électromotrice à haute fréquence, lorsqu'une seule aube est munie d'une électrode.

Les fig. 13 et 14 montrent l'usage du dispositif pour déterminer la vitesse de rotation d'un rouleau d'un palier à rouleaux autour de l'axe de celui-ci et autour de son propre axe. Le palier à rouleaux est constitué par une bague intérieure 67, une bague extérieure 68 et des rouleaux 69. A l'une de ses extrémités, un rouleau est muni d'un aimant 70 décalé par rapport à l'axe du rouleau. Un conducteur 71 en zigzag se trouve dans un plan normal à l'axe du palier, les parties du conducteur qui s'étendent latéralement étant disposées radialement (pour plus de clarté, le conducteur est représenté sectionné sur la fig. 14). Ce conducteur est discontinu à un endroit où une force électromotrice alternative est engendrée. Celle-ci aura deux composantes, l'une à une fréquence égale à la vitesse de rotation du rouleau autour de l'axe du palier, l'autre à une fréquence déterminée par la vitesse de rotation du rouleau autour de son propre axe. Ces deux vitesses de rotation pourraient être calculées à l'aide du signal capté entre les extrémités du conducteur 71, mais pour faciliter ce calcul le rouleau est équipé d'un deuxième aimant 72 fixé à l'extrémité opposée à celle portant l'aimant 70 et dans l'axe du rouleau. Un deuxième conducteur (non représenté), semblable au conducteur 71, est fixé à la boîte du palier, près de l'aimant 72. Le signal provenant de ce deuxième conducteur donne une indication de la vitesse de rotation du rouleau autour de l'axe du palier et il peut servir à démoduler le signal provenant du conducteur 71, de sorte que le signal résultant dépendra uniquement de la vitesse de rotation du rouleau autour de son propre axe.

Lorsqu'il s'agit d'un palier à rouleaux avec cage, la vitesse de rotation de celle-ci peut être déterminée en y fixant un aimant.

Lorsque la pièce mobile porte un aimant, le dispositif peut comporter une mince couverture métallique cimentée sur le conducteur et isolée de celui-ci, afin d'éviter que le conducteur ne soit endommagé par des corps étrangers, par exemple par des particules de glace. Si son épaisseur est d'environ 0,25 mm, elle ne troublera guère le signal électrique fourni par le conducteur, bien qu'elle soit disposée entre celui-ci et l'aimant.

## REVENDEICATION

Dispositif pour mesurer la vitesse d'oscillation ou de rotation d'une partie d'une pièce rotative qui peut osciller ou tourner par rapport au reste de cette pièce, caractérisé en ce qu'il comprend un aimant (14, 27, 38, 70) ou une électrode électrostatique (60) porté par ladite partie oscillante ou rotative (13, 21, 35, 36, 37, 61, 69), et un conducteur fixe (17, 31, 39, 62, 62a, 71) constitué par une rangée de barres s'étendant transversalement et régulièrement espacées (18, 32), connectées les unes aux autres et dis-

posées de manière que, pendant la rotation de la pièce rotative, l'aimant ou l'électrode croise successivement des barres, de telle sorte qu'un signal électrique est engendré dans le conducteur. la fréquence de base de ce signal étant déterminée par la vitesse de rotation de la pièce rotative dans son ensemble, cette fréquence présentant une variation cyclique due au mouvement superposé de ladite partie oscillante ou rotative.

#### SOUS-REVENDECATIONS

1. Dispositif selon la revendication, dans lequel les barres sont croisées par un aimant pendant la rotation de la pièce rotative, caractérisé en ce que le conducteur (17, 31, 39, 71) est en forme de zigzag et présente une discontinuité en un point (18a) de sa longueur, de manière qu'une force électromotrice alternative soit créée aux bornes de la discontinuité dans le conducteur pendant la rotation de la pièce.

2. Dispositif selon la revendication, dans lequel les barres sont croisées par une électrode pendant la rotation de la pièce rotative, caractérisée en ce que l'électrode (60) est connectée électriquement à des moyens agencés pour appliquer une force électromotrice à travers le jeu compris entre l'électrode (60) et le conducteur (62, 62a) pendant la rotation de la pièce, de manière qu'un signal électrique soit produit par suite de la variation de l'impédance capacitive entre le conducteur et l'électrode.

3. Dispositif selon la revendication, pour mesurer la vitesse d'oscillation d'une aube du rotor d'un compresseur ou d'une turbine à écoulement axial, caractérisé en ce que l'aimant (14, 38) ou l'électrode est monté dans la pointe de l'une des aubes (13, 35, 36, 37) du rotor et est entouré par le conducteur (17, 39).

4. Dispositif selon les sous-revendications 2 et 3, caractérisé en ce qu'il comprend des électrodes

montées sur un certain nombre d'aubes, ces électrodes étant agencées de manière à croiser les barres d'un seul conducteur pendant la rotation du rotor, chaque électrode comportant des moyens séparés pour appliquer une force électromotrice en travers du jeu compris entre elle et le conducteur.

5. Dispositif selon les sous-revendications 1 et 3, caractérisé en ce qu'il comprend une seconde électrode montée sur une seconde aube qui suit une trajectoire moyenne semblable à celle de l'aimant pendant la rotation du rotor.

6. Dispositif selon la revendication, caractérisé en ce qu'il comprend un second conducteur, semblable au premier et espacé axialement de celui-ci, et un second aimant ou une seconde électrode, qui se déplace le long d'une trajectoire croisant les barres du second conducteur et qui est porté par une partie (36, 37) de la pièce rotative capable de vibrer de la même manière que la première partie (35).

7. Dispositif selon la revendication, caractérisé en ce que les barres (32) du conducteur (31) sont inclinées sur l'axe de rotation de la pièce rotative.

8. Dispositif selon la sous-revendication 7, caractérisé en ce qu'il comprend un second conducteur superposé au premier conducteur et isolé de celui-ci, les barres du second conducteur étant inclinées sur l'axe de rotation en sens opposé des barres du premier conducteur.

9. Dispositif selon la revendication, pour mesurer la vitesse de rotation d'un rouleau de palier, caractérisé en ce qu'il comprend un premier aimant (70) ou une première électrode monté sur l'un des rouleaux (69) en un endroit éloigné de l'axe de celui-ci et un second aimant (72) ou une seconde électrode monté axialement sur ce rouleau ou sur une cage pour lesdits rouleaux.

Bristol Siddeley Engines Limited

Mandataires : Dériaz, Kirker & Cie, Genève



